

激光烧结用宝珠砂覆膜工艺优化研究

梁培, 徐志锋, 蔡长春, 熊博文, 余欢

(南昌航空大学“轻合金加工科学与技术”国防重点学科实验室, 江西 南昌 330063)

摘要:通过对酚醛树脂含量为 2.5% 的宝珠砂进行覆膜工艺优化, 确定了最佳覆膜工艺参数及其影响规律, 其试件的常温抗拉强度达到了 6.2 MPa。同时, 对用最佳覆膜工艺方案制备的覆膜宝珠砂进行激光烧结实验, 确定激光烧结工艺参数为: 预热温度 60 °C, 铺粉厚度 0.4 mm, 扫描间距 0.15 mm。当激光功率为 35 W 和扫描速度为 800 mm/s 时, 其烧结件表面平整, 轮廓清晰, 初强度达到了 0.86 MPa, 可以实现具有精细结构的复杂薄壁零件的快速铸造。

关键词:覆膜砂; 覆膜工艺; 选择性激光烧结

中图分类号: TG242 文献标识码: A 文章编号: 1000-8365(2010)12-1660-03

Coating Process Optimization of Pearl Sand Used in SLS

LIANG Pei, XU Zhi-feng, CAI Chang-chun, XIONG Bo-wen, YU Huan

(National Defence Key Discipline Laboratory of Light Alloy Processing Science and Technology, Nanchang HangKong University, Nanchang 330063, China)

Abstract: Through the coating process optimization of the Pearl sand with phenolic resin content of 2.5%, the optimum coating process parameters and the influence law were established, And the tensile strength of the sample at room temperature achieved 6.2 MPa. At the meanwhile, the coated sand made with the optimum coating process plan was used in the laser sintering experiment and the molding process parameters of laser sintering were: preheating temperature 60 °C, thickness of spreading powder 0.4 mm, Scan pitch 0.15 mm. When laser power was 35W and scanning speed was 800 mm/s, the surface of the sintered part was smooth and its outline was clear, the initial strength reached 0.86 MPa, Rapid Casting of complex thin-walled part with fine structure could be achieved.

Key words: Coated sand; Coating process; Selective laser sintering

快速成形技术是目前先进制造技术领域研究中备受关注的焦点, 铸造作为一项传统的工艺, 制造成本低、工艺灵活性大, 可以获得复杂形状的大型薄壁铸件。充分发挥两者的特点和优势, 可以在新产品试制和新技术开发方面取得重大突破^[1]。特别是把选择性激光烧结(SLS)技术应用到铸造覆膜砂上, 将有望解决激光快速成形中高成本、应用面窄的瓶颈, 尤其在制备内腔流道复杂、封闭型、含有复杂水路、油路及气路结构的铸型(芯)方面具有明显的优越性, 对于提升航空、航天及汽车等工业领域的快速响应制造能力和水平有着重要意义^[2]。

覆膜砂激光烧结件的成型精度和力学性能主要受

控于材料的粉体特性和烧结工艺, 国内外的研究主要集中在激光烧结工艺参数优化和固化机理探讨等^[3~5]方面, 而对于其粉体特性对烧结件的影响未有深入报道。本文将结合 SLS 的工艺特点和成型性要求, 主要对覆膜砂的成分配比和覆膜工艺进行设计及优化, 提高激光烧结件的表面质量和力学性能。

1 实验过程

1.1 实验材料

原砂: 铸造级宝珠砂, $Al_2O_3 \geq 75\%$, $Fe_2O_3 \leq 5\%$, $TiO_2 \leq 5\%$, 粒径 70/140 目; 粘结剂: 热塑性固体酚醛树脂, 型号为 PF-1904; 固化剂: 乌洛托品即六亚甲基四胺, 白色或无色结晶粉末; 润滑剂: 硬脂酸钙, 均匀细微的白色粉末; 添加剂: 硅烷类偶联剂 KH-550, 无色透明液体。覆膜砂基本成分配比见表 1。

1.2 实验设备

SHY 叶片式芯砂混砂机, SXZ-10-13 箱式电阻炉和 SWY 型液压万能强度试验机。选择性激光烧结实

收稿日期: 2010-10-20; 修订日期: 2010-11-16

基金项目: 航空科学基金资助项目(2008ZF56016)

作者简介: 梁培(1986-), 女, 山东淄博人, 硕士生。研究方向: 快速成形技术。

Email: 1637419697@qq.com

表 1 覆膜砂基本成分配比

Tab. 1 Basic ratio of coated sand

成分	质量比	说明	备注
宝珠砂	100	人造砂	过筛处理
酚醛树脂	2.5	占原砂重	破碎
乌洛托品	14.0	占树脂重	配成水溶液
硬脂酸钙	2.0	占树脂重	分成两份
偶联剂	1.0	占树脂重	配成水溶液

实验采用华中科技大学研制的 HRPS-III A 型快速成形设备,该 CO₂ 激光器最大输出功率为 50 W,激光波长 10.60 μm,最大成形尺寸为 400 mm × 400 mm × 450 mm。

1.3 实验方案

1.3.1 覆膜工艺流程的确定

采用热法覆膜,先将原砂加热,然后分别与树脂、乌洛托品和硬脂酸钙等混合搅拌,经冷却、破碎和筛分制成。以叶片式芯砂混砂机为例,具体的覆膜工艺流程如表 2 所示。

表 2 热法覆膜混砂工艺

Tab. 2 Process of thermally maxing coated sand

次序	工艺步骤	混料时间/s
1	原砂加热至 220~230 °C	混碾 80
2	温度降至 110~130 °C 时,加树脂	混碾 60~100
3	加入偶联剂	混碾 20~30
4	加入部分硬脂酸钙	
5	温度降至 90~100 °C 时,加固化剂	混碾 40~80
6	加入剩余硬脂酸钙	混碾 50
7	放料,水冷至室温,破碎,筛分	

1.3.2 覆膜工艺方案及计算结果

根据各主要工艺参数对覆膜砂强度的影响水平,用正交实验的方法设计出合理的覆膜工艺方案,测试每组试样常温抗拉强度,归纳出各工艺参数与成型质量及强度的关系。

正交实验设计 4 个主要实验因素,分别为:A 加树脂时的温度、B 加树脂后混碾时间、C 加固化剂时的温度、D 加固化剂后的混碾时间;设置 3 个水平。其因素水平见表 3,极差分析计算结果见表 4,其常温抗拉强度为试样的平均值。

表 3 因素水平表

Tab. 3 Table of factor and level

A 加树脂时的温度/°C	B 加树脂后混碾时间	C 加固化剂时温度/°C	D 加固化剂后的混碾时间
1	110	60	90
2	120	80	95
3	130	100	100

表 4 方差分析计算结果

Tab. 4 Results of variance analysis

实验编号	A 加树脂时的温度/°C	B 加树脂后的混碾时间/s	C 加固化剂时的温度/°C	D 加固化剂后的混碾时间/s	常温抗拉强度/MPa
1	1(110)	1(60)	1(90)	1(40)	3.2
2	1(110)	2(80)	2(95)	2(60)	6.0
3	1(110)	3(100)	3(100)	3(80)	3.1
4	2(120)	1(60)	2(95)	3(80)	5.2
5	2(120)	2(80)	3(100)	1(40)	3.5
6	2(120)	3(100)	1(90)	2(60)	4.4
7	3(130)	1(60)	3(100)	2(60)	4.6
8	3(130)	2(80)	1(90)	3(80)	4.3
9	3(130)	3(100)	2(95)	1(40)	2.0
M1	12.3	13.0	12.9	8.7	
M2	13.1	14.0	13.4	15.2	
M3	10.9	9.5	11.2	12.6	
m1	4.10	4.33	4.30	2.90	
m2	4.37	4.67	4.47	5.07	
m3	3.63	3.17	3.73	4.20	
Ri	2.2	4.5	2.2	6.5	

1.3.3 覆膜砂强度的测定

利用在不同的覆膜工艺参数组合下配制的覆膜砂制备“8”字型试样,测试常温抗拉强度。具体操作为:将试样模具及其上下板加热至 232±5 °C,然后移开上加热板,迅速将覆膜砂由砂斗倒入型腔中,利用刮板刀垂直于模具从试样中间分两次向两侧刮去多余的砂子。再压上加热板,放入 220~240 °C 的烘箱中保温固化 120 s 后取出,放于干燥处自然冷却到室温并在 1h 内进行测量。

1.3.4 覆膜宝珠砂的激光烧结成型工艺

在各激光烧结工艺参数中,确定预热温度 60 °C,铺粉厚度 0.4 mm,扫描间距 0.15 mm。烧结材料是由最佳覆膜工艺方案制备的覆膜宝珠砂,考虑激光功率和扫描速度对烧结件成型性和力学性能的影响。在激光功率和扫描速度的 6 种不同的工艺参数组合下,各烧结件的初强度测量结果见表 5。

表 5 激光烧结件的初强度

Tab. 5 Initial strength of laser sintering parts

试件编号	1	2	3	4	5	6
激光功率/W	30	30	30	35	35	35
扫描速度 mm/s	800	1 000	1 200	800	1 000	1 200
抗伸强度/MPa	0.56	0.32	0.37	0.86	0.59	0.40

2 讨论与分析

2.1 覆膜砂的成分对其性能的影响

(1) 原砂的选择

宝珠砂的优点是:角形系数≤1.1,极似球形,密度

为 $1.95 \sim 2.05 (\text{g}/\text{cm}^3)$, 表面光滑, 流动性和透气性好, 易于紧实, 具有良好的导热性, 热膨胀量小, 耐火度 $\geq 1800^\circ\text{C}$ 且易于清砂作业。

(2) 树脂含量的确定

由于宝珠砂的粒形较圆, 有利于树脂向砂粒间的接触点流动, 形成较粗大的树脂缩颈, 使砂粒间的接触点与粘结剂之间的“连接桥”截面积增大, 提高了粘结强度, 同时能改善树脂膜的均匀性和砂型的紧实度。因此, 在同样强度的条件下, 树脂的加入量可减少 $30\% \sim 50\%$ 。

随着宝珠砂中树脂含量的增加, 砂粒表面的树脂膜增厚, 铸件的发气量增大。所以在达到一定强度的条件下, 树脂加入量越少越好, 实验中确定树脂含量占原砂总量 2.5% 。此类树脂的软化点 $80 \sim 90^\circ\text{C}$, 聚合速度 (150°C) $58 \sim 70 \text{ s}$, 其比强度高, 熔体的流动性好, 能提高覆膜砂的强度, 改善其溃散性^[6]。

2.2 覆膜工艺因素对覆膜砂性能的影响规律

(1) 加树脂时原砂的温度

在宝珠砂的覆膜工艺中, 当把树脂加入到原砂中, 原砂的热作用使树脂升温、软化并逐步包覆砂粒。若温度过低, 树脂不能完全软化熔融, 强度和热韧度比较低; 若温度过高, 影响其流动性和覆膜效果。一般选择软化点温度以上 $40 \sim 50^\circ\text{C}$ 。

(2) 加树脂后的混碾时间

树脂在达到软化温度后开始进行覆膜, 树脂粘度不断增大。随着混碾时间的增加, 砂粒与树脂的混合料开始降温, 由于热量的散失其粘度会下降。此时的混碾时间需保证树脂均匀的包覆在砂粒表面形成树脂膜, 又不至于粘结成团块。

(3) 加固化剂时的温度

在树脂的覆膜过程中, 加入的偶联剂强化了原砂与树脂之间的界面强度, 促进了其界面结合; 硬脂酸钙则改善覆膜砂的流动性, 减少结块及发气量, 提高覆膜砂的热强度。当混合料温度降到 $90 \sim 100^\circ\text{C}$ 时, 加入固化剂水溶液, 利于固化反应充分有效的进行, 加快了固化速度, 提高粘结强度和效率。

(4) 加固化剂后的混碾时间

由于固化剂中水分的蒸发, 混合料温度急骤下降且粘结成固体团块, 在混砂机快速搅拌的冲击作用下团块被逐步击碎分散, 形成松散的、表面包覆树脂膜的成品覆膜砂。此时的混碾时间变化范围比较大, 对覆膜工艺的效果影响重大。若混碾时间过短则固化反应不完全, 交联不充分; 而时间过长, 原砂与树脂的交联会被严重破坏。

2.3 最佳覆膜工艺方案的确定

从表 4 的正交实验结果和表 5 激光烧结件的初强

度结果表明:

(1) 各覆膜工艺参数对覆膜砂强度的影响从大到小依次为: $D > B > C > A$ 。

(2) 由表 4 可直接看出试样 2 的抗拉强度最大, 达到了 6.0 MPa 。分析计算结果可知, $A_2B_2C_2D_2$ 组合的覆膜效果最佳, 对此进行验证性实验, 试样的抗拉强度达到了 6.2 MPa , 相比一般工业用覆膜砂(树脂含量 3.5% , 常温抗拉强度 2.35 MPa)提高了近 2 倍。

(3) 在覆膜砂的激光烧结实验中, 预热温度 60°C , 铺粉厚度 0.4 mm , 扫描间距 0.15 mm , 当激光功率 35 W , 扫描速度 800 mm/s 时, 初强度最高达到了 0.86 MPa , 且试样表面平整, 轮廓清晰。

(4) 最佳覆膜工艺参数为: $A_2B_2C_2D_2$, 即加树脂时原砂的温度为 120°C , 加树脂后混碾时间为 80 s , 加固化剂时混合料的温度为 95°C , 加固化剂后的混碾时间为 60 s 。

3 结论

(1) 为开发出适合激光烧结用的覆膜砂, 在酚醛树脂含量为 2.5% 的情况下, 选用角形系数小、极似球形的宝珠砂作为原砂, 优化了其成分配比。

(2) 加固化剂后的混碾时间对覆膜砂的性能影响最大, 其他覆膜工艺参数的影响从大到小依次为: 加树脂后的混碾时间, 加固化剂时混合料的温度, 加树脂时原砂的温度; 确定了最佳覆膜工艺方案, 试件的抗拉强度达到了 6.2 MPa 。

(3) 选用由最佳覆膜工艺方案制备的覆膜宝珠砂进行激光烧结实验, 其烧结件的初强度最高达到了 0.86 MPa , 且表面平整, 轮廓清晰, 满足激光烧结件的表面质量和力学性能。

致谢: 在实验过程中, 何宗男、方菊莲、洪焱捷等给予了极大帮助, 在此深表感谢。

参考文献

- [1] 颜永年, 单忠德. 快速成形与铸造技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [2] 朱林泉, 白培康, 朱江森. 快速成型与快速制造技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [3] 赵东方, 赵忠泽, 庞国星. 激光快速成型用覆膜砂工艺性能探讨[J]. 热加工工艺, 2004, (8): 33-34.
- [4] 樊自田, 黄乃瑜. 选择性激光烧结覆膜砂铸型(芯)的固化机理[J]. 华中科技大学学报, 2001, 29(4): 60-62.
- [5] Gustafson R, Spada A T. Technology in Progress “Prototyping Produces S and Molds, Cores for Production Castings” [J]. Modern Casting, 2002, (9): 38-39.
- [6] 康明, 卢定全, 马朝阳. 提高酚醛树脂覆膜砂溃散性的研究[J]. 铸造, 2001, 50(6): 337-341.